

## MODEL PERKIRAAN DEBIT BANJIR PADA SUNGAI DI JAWA (Suatu Usulan Model Pembanding)

oleh:  
Soewarno

### INTI SARI

Masalah umum yang dihadapi oleh para hidrologiawan adalah memperkirakan debit banjir di lokasi penelitian yang belum mempunyai data pengukuran debit. Penelitian dengan judul "Model Perkiraan Debit Banjir Pada Sungai di Jawa" dilaksanakan dengan analisis data sekunder yang tercantum pada buku "Manual Debit Banjir Rencana Untuk Jawa dan Sumatera" yang disusun bersama-sama antara Institut Hidrologi dari Inggris dengan Direktorat Penyelidikan Masalah Air (DPAM) sekarang Pusat Litbang Pengairan,

untuk menghasilkan suatu model debit banjir di lokasi yang belum pernah dilakukan pengukuran debit. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan suatu model estimasi debit banjir tahunan rata-rata.

Debit banjir tahunan rata-rata (QBR), diperkirakan dari persamaan yang diturunkan dengan menggunakan analisis regresi berganda. Data dari beberapa daerah pengaliran sungai (DPS) seperti, curah hujan maksimum DPS dalam satu hari (HMS); curah hujan rata-rata tahunan DPS (HTR); luas DPS (LDP); luas hutan (LHT); luas sawah (LSW); panjang sungai utama (PSU) dan kemiringan sungai utama (KSU), digunakan untuk membuat model. Uji statistik digunakan untuk memilih model yang relatif baik.

Apabila QBR telah dapat ditetapkan dari model yang dipilih, maka debit puncak banjir dari berbagai periode ulang dapat diperkirakan dengan menggunakan faktor tumbuh. Nilai perkiraan debit banjir dari model hasil penelitian ini harus dicek dengan model yang lain sebagai pembanding dan dengan data debit banjir atau tinggi muka air banjir pos duga air yang terdekat.

---

\* Drs. Soewarno adalah alumnus fakultas Geografi UGM, Ajun Peneliti Madya Rekayasa Hidrologi pada Balai Penyelidikan Hidrologi di Pusat Litbang Pengairan Bandung 40135.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang Masalah

Pada musim penghujan, antara bulan Desember sampai April, hampir selalu media masa menyampaikan berita banjir dimana-mana, di Jawa mulai dari banjir di daerah Bandung Selatan karena meluapnya aliran sungai Citarum, banjir di beberapa daerah di sepanjang jalur pantai utara Jawa, banjir di wilayah sungai Bengawan Solo Hilir, mulai dari daerah Kalitidu, Bojonegoro, Babat dan Lamongan serta daerah-daerah lain di pulau Jawa. Menurut Sunjoto (1994), fakta menunjukkan bahwa di Jawa dari tahun ke tahun potensi banjir meningkat baik frekuensi maupun besarnya (Sunjoto, 1994).

Data tentang besar, frekuensi dan luas genangan banjir di Jawa semakin terasa dibutuhkan dalam pelaksanaan pembangunan, terutama dalam usaha penanggulanganannya, disamping itu data tersebut juga sangat diperlukan dalam evaluasi kondisi sumber daya air. Pada kegiatan berbagai perencanaan teknik bangunan pengairan, perencanaan pembuatan jalan raya, jalan kereta api dan perencanaan bangunan teknik lainnya data besar dan frekuensi debit banjir juga sangat diperlukan. Data debit banjir tersebut biasanya meliputi besar dan pada periode ulang kejadiannya misal debit banjir periode ulang 5 atau 10 tahunan.

Apabila data debit banjir dari suatu daerah pengaliran sungai (selanjutnya disingkat DPS) sudah tersedia cukup panjang menurut runtut waktu, minimal 10 tahun, maka analisis debit banjir yang dapat diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu dapat dilaksanakan dengan analisis sebaran peluang dan memilih sebaran peluang yang cocok. Hasil analisis sebaran peluang debit banjir yang dapat dipertanggung jawabkan merupakan sebuah tuntutan untuk memenuhi kebutuhan pelaksanaan pembangunan yang terkait dengan sumber daya air guna memperoleh rancang bangun yang mantap dan ekonomis. Analisis peluang itu memerlukan parameter statistik dari data debit banjir runtut waktu tersebut, minimal nilai rata-rata dan simpangan bakunya.

Salah satu masalah yang umum dihadapi oleh para Hidrologiwan dalam menentukan besar dan frekuensi debit banjir dari suatu DPS timbul karena belum terdapatnya data debit hasil pengukuran. Belum tersedianya data debit banjir runtut waktu dari hasil pengukuran dapat menyebabkan hasil perhitungan banjir tidak sesuai dengan kondisi di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan metode pendekatan untuk memperkirakan besar debit banjir dari suatu DPS yang belum ada pengukuran debatnya.

Tulisan ini mencoba menyampaikan salah satu model alternatif dalam menentukan debit banjir sungai di Jawa untuk DPS yang belum mempunyai data pengukuran debit. Model tersebut diperoleh dari hasil analisis data debit banjir runtut waktu dari DPS yang telah mempunyai data debit banjir hasil pengukuran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu model pembandingan dari beberapa model estimasi banjir yang telah dikembangkan untuk sungai-sungai di P. Jawa.

## Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini adalah membuat model debit banjir tahunan rata-rata menggunakan analisis regresi berganda untuk memperoleh sebuah model alternatif sebagai model pembandingan dari beberapa model yang ada untuk menaksir debit banjir tahunan rata-rata dari suatu DPS di P. Jawa yang belum tersedia data pengukuran debitnya.

## Landasan Teori

Banjir umumnya diartikan sebagai aliran yang melimpas tanggul alam atau buatan dari suatu sungai (WMO - No. 356). Pada tulisan ini yang dimaksud dengan banjir hanya terbatas pada keadaan aliran air yang relatif tinggi sebagaimana terukur pada alat duga air dari suatu pos duga air sungai yang alirannya tidak melimpas tebing dan tidak terpengaruh arus balik. Debit banjir tahunan rata-rata merupakan nilai rata-rata debit banjir terbesar tahunan yang terjadi minimal selama 10 tahun pengamatan runtut waktu.

Banjir terjadi karena adanya faktor penyebab dan faktor lingkungan (Seyhan, 1977). Faktor penyebab terutama adalah terjadinya hujan. Apabila memperhatikan siklus hidrologi, terjadinya hujan merupakan bagian dari siklus hidrologi, banjir pun dapat dikatakan sebagai bagian dari siklus hidrologi, oleh karena itu banjir merupakan proses alam yang akan selalu terjadi secara rutin, terutama pada musim penghujan. Pengalih ragaman (transformation) hujan menjadi debit merupakan suatu proses yang sangat rumit karena sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan.

Dari suatu DPS yang belum memiliki data pengukuran debit perkiraan debit banjir dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam model, yaitu model empiris, model konseptual, model statistik yang meliputi cara regresi, cara probabilitas dan Stokastik (Sri Harto, 1993). Hampir semua rumus dalam model itu menyatakan korelasi satu atau lebih variabel yang sangat berhubungan dengan debit banjir. Banyak variabel dari suatu DPS, terutama morfometri DPS yang dapat digunakan untuk analisis, misal : luas DPS, panjang sungai utama, kemiringan sungai utama, kerapatan daerah aliran dan ratio percabangan sungai. Disamping itu hujan yang dapat menyebabkan banjir juga dipengaruhi oleh karakteristik permukaan tanah. Sewaktu permukaan tanah tertutup oleh vegetasi sebagian besar air hujan dapat meresap ke dalam tanah dan bila suatu DPS rapat dengan vegetasi sungainya jarang mengalami banjir dan debit mengalir sepanjang tahun (Sunjoto, 1994). Secara teoritis sifat tanah, formasi geologi dan tataguna tanah mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap debit banjir (Sri Harto, 1993).

Dengan banyaknya variabel yang mempengaruhi debit banjir, yang diperkirakan berkisar antara 15 sampai 20 buah variabel, maka perkiraan debit banjir yang hanya mengkorelasikan dengan satu atau dua variabel tentu tidak mungkin memperoleh hasil perkiraan yang tepat (Suyono, 1976). Penelitian ini lebih bersifat makro, sehingga faktor penyebab banjir dan faktor lingkungan yang digunakan dalam pembuatan model harus dipilih yang mudah diterapkan. Faktor-faktor tersebut adalah :

- 1) hidrologi DPS, dalam penelitian ini digunakan data curah hujan maksimum dalam satu hari dan jumlah hujan rata-rata tahunan.

- 2) morfometri DPS, meliputi data luas DPS, panjang sungai utama dan kemiringan sungai utama.
- 3) luas bentuk penggunaan tanah DPS, meliputi data luas hutan dan luas sawah.

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan untuk membuat model debit banjir tahunan rata-rata, selanjutnya dibuat model statistik dengan cara regresi. Cara regresi adalah perkiraan suatu nilai berdasarkan besaran-besaran lain yang dianggap/diyakini merupakan parameter nilai itu. Pada penelitian ini digunakan model regresi berganda untuk analisis data yang telah dikumpulkan.

### Tinjauan Pustaka

Di Indonesia, khususnya di Jawa, untuk menaksir debit banjir dari DPS yang belum memiliki data pengukuran debit telah dikembangkan model empiris. Debit banjir dihitung berdasarkan koefisien aliran, koefisien reduksi, luas DPS dan hujan maksimum setempat dalam sehari, beberapa ahli, seperti Melchior, der Weduwen dan Haspers, masing-masing menggunakan pendekatan yang berbeda dalam mengembangkan model empiris tersebut (Soewarno, 1991). Menurut Sri Harto (1993), metode pendekatan yang dilakukan oleh Melchior der Weduwen dan Haspers mengundang kesalahan yang sangat besar dibanding dengan besaran yang dihitung berdasarkan analisis frekuensi.

Peterson telah mengembangkan metode untuk menaksir debit banjir dalam pelaksanaan Proyek Irigasi Sederhana di Indonesia. Debit banjir pada periode ulang  $T = 2,5, 10$  dan  $25$  tahun diturunkan dari analisis data curah hujan tahunan dan luas DPS dengan model statistik, menggunakan metode regresi berganda. Model yang dimaksud adalah (*International Engineering Company, et al 1977*) :

$$\begin{aligned}
 QB2 &= (1,43)(10)^{-6} LDP^{0,964} HTR^{1,69} \dots\dots\dots (1) \\
 QB5 &= (1,74)(10)^{-6} LDP^{0,950} HTR^{1,72} \dots\dots\dots (2) \\
 QB10 &= (1,89)(10)^{-6} LDP^{0,942} HTR^{1,73} \dots\dots\dots (3) \\
 QB25 &= (1,59)(10)^{-6} LDP^{0,944} HTR^{1,77} \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

QB2 adalah debit banjir pada periode ulang 2 tahun dan diperkirakan besarnya sama dengan debit banjir tahunan rata-rata, QB5, QB10, QB25 adalah debit banjir pada periode ulang 5, 10, dan 25 tahun. LDP adalah luas DPS dan HTR adalah curah hujan rata-rata tahunan seluruh DPS yang diteliti. Persamaan (1) sampai dengan persamaan (4) disarankan untuk menaksir debit banjir yang luas DPSnya (LDP) antara 0,43 sampai 414 km dengan curah hujan (HTR) berkisar antara 1882 sampai 5226 mm/tahun (*International Engineering Company, et al, 1977*).

Metode IOH-DPMA, memperkenalkan model perhitungan debit puncak banjir untuk DPS Sumatera dan Jawa yang belum memiliki data pengukuran debitnya, dengan model regresi sebagai berikut (IOH- DPMA, 1983) :

$$\begin{aligned}
 QBR &= (8,0)(10)^{-6} (LDP)^y (HMS)^{2,445} (KSU)^{0,117} (1+D)^{-0,85} \dots\dots\dots (5) \\
 QB(T) &= GF \cdot (QBR) \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

dalam hal ini :

$$\begin{aligned}
 QBR &= \text{debit banjir tahunan rata-rata (m}^3/\text{det)} \\
 LDP &= \text{luas DPS (km)}
 \end{aligned}$$

HMS = curah hujan maksimum DPS selama 24 jam dalam tahun yang bersangkutan (mm/hari)

KSU = kemiringan sungai utama (m/km)

$D = \text{indek danau} = \frac{\text{luas DPS danau, waduk, rawa}}{\text{luas DPS lokasi penelitian}}$

$V = 1,02 - 0,0275 \log LDP$

QB(T) = debit banjir pada periode ulang tertentu ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

GF = faktor tumbuh (lihat Tabel 1)(Sumber : IOH - DPMA, 1983)

**Tabel 1. Faktor Tumbuh Debit Banjir Jawa dan Sumatera.**

Periode ulang T	Reduced Variate Y	Luas daerah pengaliran sungai ( $\text{km}^2$ )					
		< 180	300	600	900	1200	> 1500
5	1,50	1,28	1,27	1,24	1,22	1,19	1,17
10	2,25	1,56	1,54	1,48	1,44	1,41	1,37
20	2,97	1,88	1,84	1,75	1,70	1,64	1,59
50	3,90	2,35	2,30	1,18	2,10	2,03	1,95
100	4,60	2,78	2,72	2,57	2,47	2,37	2,27
200	5,30	3,27	3,20	3,01	2,89	2,78	2,66
500	6,21	4,01	3,92	3,70	3,56	3,41	3,27
1000	6,91	4,68	4,58	4,32	4,16	4,01	3,85

Sumber :

- IOH/DPMA, 1993, "Flood Design Manual for Java and Sumatera"
- Faktor tumbuh adalah faktor perkalian (koefisien) untuk memperkirakan debit banjir pada berbagai periode ulang berdasarkan debit banjir tahunan rata-rata. Misal suatu DPS dengan luas  $175 \text{ km}^2$  dan QBR =  $100 \text{ m}^3/\text{detik}$  maka debit banjir pada periode ulang 5 tahun  $QB_5 = 100 \times 1,28 \text{ m}^3/\text{detik}$ .

## CARA PENELITIAN

### Pengumpulan Data

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan data sekunder dengan memilih DPS di P. Jawa yang telah memiliki data pengukuran debit, data tersebut tertuang dalam laporan penelitian yang dilakukan oleh IOH-DPMA tahun 1983; dengan demikian data yang digunakan sudah diuji ketelitiannya. Dari 38 DPS yang dipilih 22 DPS secara acak, untuk membuat dan menguji model dan sisanya 16 DPS yang lain digunakan hanya untuk menguji model. Model dibuat berdasarkan hubungan antara debit banjir tahunan rata-rata sebagai variabel tidak bebas (VTB) dan variabel bebas (VB), yang terdiri dari variabel hidrologi, berupa curah hujan, morfometri DPS dan luas bentuk penggunaan tanah, yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya debit banjir tahunan rata-rata dari suatu DPS di Jawa yang belum memiliki data pengukuran debit. Tabel 2, menunjukkan VTB dan VB dari 38 DPS yang digunakan untuk analisis.

Tabel 2. Daftar Variabel dalam Penelitian

No	Nama Variabel	Simbul	Satuan
1	Debit banjir tahunan rata-rata	QBR	m <sup>3</sup> /det
2	Luas DPS	LDP	km <sup>2</sup>
3	Hujan maksimum DPS dalam 1 hari	HMS	mm/hari
4	Hujan tahunan rata-rata	HTR	mm/tahun
5	Luas hutan	LHT	km <sup>2</sup>
6	Luas sawah	LSW	km <sup>2</sup>
7	Panjang sungai utama	PSU	km <sup>2</sup>
8	Kemiringan sungai utama	KSU	m/km

Catatan:

- variabel No. 1 sebagai VTB
- variabel No. 2 sampai 8 sebagai VB

### Perhitungan Data

Bentuk umum model yang dipergunakan adalah persamaan regresi berganda sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (7)$$

dalam hal ini :

- Y = variable tidak bebas  
 $b_0$  = konstanta persamaan regresi  
 $b_1, b_2, b_k$  = koefisien regresi  
 $X_1, X_2, X_k$  = variabel bebas

Indek variabel bebas menyatakan jumlah variabel bebas. Perhitungan dilaksanakan dengan menggunakan komputer dengan memanfaatkan program statistik MICRO-STAT. Dalam paket program tersebut telah tersedia perhitungan dengan cara "step-wise" dan "full regression".

### Pemilihan Model

Dalam penelitian ini model yang terbaik dipilih berdasarkan tiga ketentuan, yaitu :

- 1) berdasarkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang paling besar nilainya dihitung dengan persamaan :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ei} - Y_r)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{pi} - Y_r)^2} \quad (8)$$

dalam hal ini :

$R^2$  = koefisien determinasi

$Y_{ei}$  = nilai VTB ke  $i$  dari perhitungan model

$Y_r$  = nilai VTB rata-rata dari pengamatan

$Y_{pi}$  = nilai VTB ke  $i$  dari pengamatan

$n$  = jumlah data

(Sumber = Murray, 1972)

- 2) berdasarkan nilai perkiraan kesalahan baku (SEE) yang paling kecil dan nilainya dihitung dengan persamaan :

$$SEE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n [Y_{ei} - Y_{pi}]^2}{n} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (9)$$

(Sumber : Murray, R, 1972)

- 3) berdasarkan Uji - F, nilai F dihitung dengan persamaan :

$$F \text{ hitung} = \frac{R^2/(k-1)}{(1-R^2)/(n-k)} \dots\dots\dots (10)$$

dalam hal ini :

$k$  = jumlah variabel bebas

(Sumber : Supranto, 1983).

Uji Hipotesis menggunakan hipotesis nol apabila F hitung lebih besar dari nilai F tabel maka hipotesis ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_a$ ), yang berarti model yang dipilih antara VTB dengan VB mempunyai hubungan yang nyata, sebaliknya kalau nilai F hitung lebih kecil dan sama dengan F tabel maka hipotesis diterima dan berarti model yang dipilih antara VTB dengan VB tidak mempunyai hubungan yang nyata. Hipotesis dapat dinyatakan sebagai berikut :

- (1)  $H_0$  :  $b_1 = b_2 = \dots\dots\dots = b_k$ , dalam hal ini berarti tidak ada pengaruh dari VB terhadap VTB.
- (2)  $H_a$  :  $b_1 \neq b_2 \neq \dots\dots\dots \neq b_k$  dalam hal ini berarti paling sedikit ada satu VB mempengaruhi VTB. Nilai F tabel dapat dilihat pada lampiran VI daftar pustaka nomor 9 (lihat Supranto, 1983)

### Uji Keandalan Model

Dari 38 DPS digunakan untuk analisis dipilih 22 DPS secara acak untuk membentuk model, datanya ditunjukkan pada Tabel 3. Dari model yang dipilih

kemudian di uji keandalan terhadap data dari 22 DPS yang digunakan untuk membentuk model ditambah dengan data dari 16 DPS lainnya yang tidak digunakan untuk membentuk model, datanya ditunjukkan pada Tabel 4. Uji keandalan dilaksanakan dengan menghitung nilai akar rata-rata kesalahan kuadrat (RMS), dengan rumus sebagai berikut :

$$RMS = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{Y_{ei} - Y_{pi}}{Y_{pi}} \right]^2 \right]^{1/2} \times 100 \% \dots\dots\dots (11)$$

(Sumber : IOH - DPMA, 1983)

Nilai RMS yang diperoleh dari model hasil penelitian ini dibandingkan dengan nilai RMS debit banjir tahunan rata-rata yang dihitung dengan persamaan (1) dan persamaan (5). Apabila nilai RMS dan hasil perhitungan model hasil penelitian ini lebih kecil dari RMS yang dihitung dari persamaan (1) dan persamaan (5) maka model hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pembandingan dari model yang telah ada untuk menaksir debit banjir pada sungai di Jawa yang belum dilakukan pengukuran debit. Apabila nilai RMS dari perhitungan model hasil penelitian ini ternyata lebih besar dari nilai RMS persamaan (1) dan persamaan (5) maka model hasil penelitian ini tidak disarankan sebagai pembandingan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 5, menunjukkan nilai korelasi matrik ( $r$ ) setiap variabel yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai korelasi yang tertinggi ditunjukkan antara variabel tidak bebas (QBR) dengan panjang sungai utama (PSU) sebesar  $r = 0,9759$ , atau sama dengan koefisien determinasinya  $r^2 = 0,9252$ , oleh karena itu variabel PSU menjadi variabel yang terpenting seperti ditunjukkan pada Tabel 6 dan 7 yang ternyata variabel PSU, muncul sebagai variabel yang pertama kali dalam analisis regresi menggunakan metode "step-wise".

Selanjutnya koefisien korelasi yang tinggi juga ditunjukkan antara variabel tidak bebas (QBR) dengan luas sawah (LSW) sebesar  $r = 0,9714$  dan dengan luas daerah pengaliran sungai (LDP) sebesar  $r = 0,9702$ . Nilai koefisien korelasi yang negatif ditunjukkan antara (QBR) dengan kemiringan sungai utama (KSU) sebesar  $r = -0,4770$ , hal ini menunjukkan bahwa makin datar kemiringan sungai utama akan makin besar debit banjir tahunan rata-ratanya. Koefisien korelasi yang negatif juga ditunjukkan antara luas daerah pengaliran (LDP) dengan kemiringan sungai utama (KSU), keadaan ini menunjukkan bahwa makin besar luas DPSnya akan makin datar kemiringan sungai utamanya.

Dari Tabel 5, ditunjukkan adanya korelasi yang tinggi diantara beberapa variabel bebas, yaitu antara variabel luas daerah pengaliran sungai (LDP) dengan luas hutan (LHT), luas sawah (LSW) dan panjang sungai utama (PSU), antara variabel (LSW) dan (LTH), dan antara variabel (LTH) dan (PSU). Korelasi yang tinggi antara



**Tabel 3. Kondisi Hidrologi Morfometri DPS dan Lupa Penggunaan Tanah Daerah Penelitian untuk Membuat dan Menguji Model.**

No	Sungai	-	Tempat	QBR	Tahun	LDP	HMS	HTR	LHT	LSW	PSU	KSU
1	Cikarang	-	Cikarang	244.80	11	217.60	107.00	3482.00	27.00	74.00	52.20	5.43
2	Cigulung	-	Maribaya	26.70	22	49.00	102.00	2709.00	24.70	9.52	10.00	99.10
3	Cikapundung	-	Maribaya	31.10	12	73.60	98.00	2679.00	38.80	10.20	11.50	85.60
4	Cimanuk	-	Leuwigoong	294.90	32	757.40	81.00	2580.00	273.00	192.00	59.40	20.80
5	Cimanuk	-	Leuwidaun	102.70	10	474.90	81.00	2715.00	224.00	78.00	35.50	31.30
6	Cisanggarung	-	Cilangkang	391.00	5	622.10	88.00	2669.00	74.00	180.00	81.70	10.90
7	Ciseel	-	Cilistung	143.20	8	178.10	122.00	3389.00	30.60	6.40	30.80	36.60
8	Ciseel	-	Binangun	250.50	7	320.30	116.00	3279.00	32.60	33.00	48.60	19.60
9	Cidurian	-	Kopamaja	302.90	8	300.00	112.00	3364.00	83.00	69.00	68.40	26.90
10	Cikadueun	-	Cibogo	142.60	9	34.60	153.00	3327.00	14.20	14.80	11.60	113.00
11	Ciliman	-	Leuwikopo	121.50	6	108.50	126.00	3261.00	62.70	9.40	25.00	23.70
12	Cileleh	-	Cipiring	294.50	5	79.30	162.00	4086.00	26.30	1.75	26.20	24.40
13	Cimandiri	-	Tegaladatar	369.50	6	495.10	94.00	2988.00	112.00	144.00	46.30	21.60
14	Progo	-	Duwet	519.40	8	1749.40	87.00	2985.00	60.90	331.00	86.00	37.00
15	Bogowonto	-	Gh Malang	217.00	8	141.50	115.00	2423.00	14.50	14.20	37.20	86.20
16	Bogowonto	-	Bener	98.20	30	90.00	116.00	2034.00	0.25	3.40	18.60	150.00
17	Lusi	-	Menduran	466.90	6	1901.00	80.00	2034.00	772.00	776.00	28.00	2.17
18	Solo	-	Kauman	1477.00	10	5900.00	81.00	2343.00	693.00	2062.00	201.40	4.77
19	Brantas	-	Bojonegoro	2072.00	11	12429.00	73.00	2189.00	3032.00	4090.00	331.90	2.72
20	Brantas	-	Gadang	217.70	4	772.20	88.00	1990.00	250.00	140.00	38.30	49.20
21	Asam	-	Sentul	100.60	8	187.40	113.00	3250.00	125.00	16.70	32.10	81.70
22	Welang	-	Purwodadi	140.80	12	152.00	101.00	2489.00	47.00	22.00	27.90	75.90
Jumlah				-	238	-	-	-	-	-	-	-
Rata-rata				364.79		1228.88	104.36	2828.36	273.11	376.42	59.48	45.84
Deviasi standar				483.74		2804.36	23.10	557.51	647.97	944.54	73.05	41.44
Minimum				26.70		34.60	73.00	1990.00	0.25	1.75	10.00	2.17
Maksimum				2072.00		12429.00	162.00	4086.00	3023.00	4094.00	331.90	150.00

Sumber : IOH – DPMA, 1983

Tabel 4. Kondisi Hidrologi Morfometri DPS dan Luas Penggunaan Tanah Daerah Penelitian untuk Menguji Model.

No	Sungai	-	Tempat	QBR	Tahun	LDP	HMS	HTR	LHT	LSW	PSU	KSU
1	Citarum	-	Nanjung	270.10	21	1832.60	69.00	2305.00	576.00	549.00	65.00	13.50
2	Citarum	-	Seguling	659.60	7	2367.00	68.00	2256.00	656.00	693.00	90.60	10.40
3	Citarum	-	Palumbon	1477.00	31	4232.00	70.00	2479.00	1226.00	1146.00	132.00	10.30
4	Ciliwung	-	Kb. baru	153.00	2	322.50	102.00	3469.00	34.00	75.00	85.50	34.00
5	Cikamaya	-	Cipeundeuy	479.20	6	139.20	134.00	3631.00	75.00	17.00	56.60	50.30
6	Cimanuk	-	Tomo	609.80	10	1996.60	80.00	2631.00	770.00	475.00	130.40	13.60
7	Cimanuk	-	Pr. Kondang	680.70	19	1514.80	79.00	2559.00	385.00	366.00	114.60	14.90
8	Cilangkra	-	Cirahong	460.00	6	179.90	132.00	3266.00	18.00	53.00	32.20	21.80
9	Citanduy	-	Cirahong	588.20	8	634.70	101.00	3415.00	114.00	230.00	54.10	18.50
10	Cidurian	-	Pargi	193.20	9	622.00	99.00	2970.00	173.00	159.00	91.10	20.10
11	Ciujung	-	Kragilan	733.10	10	1858.00	94.00	3120.00	639.00	364.00	111.30	6.94
12	Padeugulan	-	Pajengkolan	627.80	6	212.40	132.00	4079.00	35.50	62.30	36.20	25.90
13	Serayu	-	Banyumas	1135.00	11	2642.40	100.00	4050.00	485.00	662.00	132.40	19.20
14	Progo	-	Kranggan	374.70	9	417.20	89.00	2270.00	60.50	168.00	34.60	82.50
15	Serang	-	Durungan	401.70	10	101.90	126.00	2295.00	0.50	10.30	16.10	52.00
16	Solo	-	Napel	2150.00	175	9579.00	74.00	2245.00	1745.00	3238.00	213.50	4.87
Jumlah				-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber : IOH - DPMA, 1983

variabel bebas tersebut (yang umumnya lebih dari 90%) menyebabkan kesulitan untuk memilih kelompok variabel yang digunakan analisis, oleh sebab itu untuk memilih model yang terbaik dalam tulisan ini, analisis regresi dicoba dengan menggunakan semua variabel bebas.

**Tabel 5. Korelasi Matrik.**

	LDP	HMS	HTR	LHT	LSW	PSU	KSU	QBR
LDP	1.00000							
HMS	- .47020	1.00000						
HTR	- .37728	.70697	1.00000					
LHT	.95787	- .45485	- .39459	1.00000				
LSW	.99704	- .46233	- .38549	.95782	1.00000			
PSU	.96484	- .47599	- .28811	.88118	.95609	1.00000		
KSU	- .38334	.37702	- .15705	- .36299	- .38587	- .46464	1.00000	
QBR	.97029	- .44505	- .31460	.88135	.97140	.97595	- .47706	1.00000

Sumber : Perhitungan data Tabel 3.

**Tabel 6. Hasil Uji Korelasi dan Regresi Berganda Data Linier dengan Metode STEP - WISE.**

Model	Model Hubungan	R	R <sup>2</sup>
1	QBR = 6,463 PSU - 19,620	0,9759	0,9525
2	QBR = 3,638 PSU + 0,288 LSW + 62,360	0,9846	0,9696
3	QBR = 2,741 PSU - 0,529 LSW - 0,326 LHT + 107,737	0,9811	0,9627
4	QBR = 1,720 PSU + 0,5878 LSW - 0,357 LHT - 1,025 KSU + 185,800 (SEE = 58,211 m <sup>3</sup> /det atau 15,95%)*	0,9940	0,9882

Sumber : Perhitungan data Tabel 3.

\*) terhadap debit banjir rata-rata 364,79 m<sup>3</sup>/detik Tabel 3.

Hasil perhitungan koefisien regresi berganda dan koefisien determinasi dengan metode "step-wise" menggunakan data linier ditunjukkan pada Tabel 6, dan yang menggunakan data logaritmik ditunjukkan pada Tabel 7. Apabila hasil perhitungan tersebut dibandingkan akan diperoleh sebuah model yang terbaik yaitu model 4 pada Tabel 6. Hal ini dapat dibuktikan dengan besarnya nilai koefisien determinasi sebagai ukuran dari uji kecocokan sebesar  $R^2 = 0,9882$  merupakan nilai terbesar apabila dibandingkan dengan nilai koefisien determinasi dari model hubungan yang lain pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Hasil perhitungan koefisien regresi berganda dan koefisien determinasi dengan metode "full-regression" menggunakan data logaritmik ditunjukkan pada Tabel 8, dan yang menggunakan data linier ditunjukkan pada Tabel 9. Apabila hasil perhitungan yang tercantum pada kedua Tabel tersebut dibandingkan akan diperoleh model yang terbaik, yaitu model 7 Tabel 9, dengan melihat nilai determinasi yang digunakan sebagai ukuran kecocokan sebesar  $R^2 = 0,9913$ , merupakan nilai terbesar bila dibandingkan dengan nilai koefisien determinasi dari model hubungan yang lain dari Tabel 8 dan 9.

**Tabel 7. Hasil Uji Korelasi dan Regresi Berganda Data Logaritmik dengan Metode STEP - WISE.**

Model	Model Hubungan	R	R <sup>2</sup>
1	$QBR = 4,185 \text{ PSU}^{1,072}$	0,8920	0,7958
2	$QBR = 20,174 \text{ PSU}^{0,8495} \text{ KSU}^{-0,227}$	0,9130	0,8336
3	$QBR = 0,178 \text{ PSU}^{0,9495} \text{ KSU}^{-0,2641} \text{ HMS}^{0,9680}$	0,9272	0,8597
4	$QBR = 4,151 (10)^{-6} \text{ LDP}^{0,6350} \text{ HMS}^{2,8282} \text{ PSU}^{0,3731} \text{ KSU}^{-0,1078}$	0,9609	0,9234
5	$QBR = 7,306 (10)^{-7} \text{ LDP}^{0,728} \text{ HMS}^{3,0160} \text{ PSU}^{0,3605}$	0,9576	0,9170
6	$QBR = 1,002 (10)^{-7} \text{ LDP}^{0,5090} \text{ HMS}^{3,537} \text{ PSU}^{0,348} \text{ LSW}^{0,2248}$ (SEE = 90,90m <sup>3</sup> /detik atau 24,91%)	0,9685	0,9381

Sumber :Perhitungan data Tabel 3.

**Tabel 8. Hasil Uji Korelasi dan Regresi Berganda Data Logaritmik dengan Metode Full-Regression.**

Model	Model Hubungan	R	R <sup>2</sup>
1	$QBR = 7,8976 \text{ LDP}^{0,5702}$	0,9612	0,7958
2	$QBR = 5,3223 (10)^{-8} \text{ LDP}^{0,9688} \text{ HMS}^{3,5667}$	0,9494	0,7958
3	$QBR = 9,2129 (10)^{-8} \text{ LDP}^{0,9724} \text{ HMS}^{3,6720} \text{ HTR}^{-0,1334}$	0,9511	0,7958
4	$QBR = 8,5211 (10)^{-9} \text{ LDP}^{0,7594} \text{ HMS}^{4,1096} \text{ HTR}^{-0,0232}$ $\text{LHT}^{0,0971} \text{ LSW}^{0,2857}$	0,9671	0,9354
5	$QBR = 1,0426 (10)^{-6} \text{ LDP}^{0,4858} \text{ HMS}^{3,9168} \text{ HTR}^{-0,5180}$ $\text{LHT}^{0,0510} \text{ LSW}^{0,2711} \text{ PSU}^{0,3964}$	0,9743	0,9494
6	$QBR = 3,4182 (10)^{-7} \text{ LDP}^{0,5242} \text{ HMS}^{3,4119} \text{ LHT}^{-0,0930}$ $\text{LSW}^{-0,2480} \text{ PSU}^{0,3056} \text{ KSU}^{-0,0831}$	0,9742	0,9492
7	$QBR = 6,0367 (10)^{-8} \text{ LDP}^{1,0084} \text{ HMS}^{3,4836} \text{ HTR}^{-0,0301}$ $\text{LHT}^{0,0501}$	0,9507	0,9046
8	$QBR = 1,9810 (10)^{-5} \text{ LDP}^{0,4153} \text{ HMS}^{3,7369} \text{ HTR}^{-0,6839}$ $\text{LHT}^{0,0574} \text{ LSW}^{0,2399} \text{ PSU}^{0,4327} \text{ KSU}^{-0,1113}$	0,9771	0,9549

Sumber :Perhitungan data Tabel 3.

Pembentukan model dengan metode "step-wise" menunjukkan bahwa model 4 Tabel 6, merupakan model yang terbaik ( $R^2 = 0,9882$  dan  $SEE = 15,95\%$ ) dan dengan model "full-regresion" menunjukkan bahwa model 7 Tabel 9, merupakan model yang terbaik ( $R^2 = 0,9913$  dan  $SEE 15,15\%$ ). Dari kedua model tersebut maka pengaruh VB pada perhitungan model, kelihatan bahwa pengaruhnya terhadap debit banjir tidak saling mengali (multiplicative) akan tetapi saling menambah (additive).

Pada prinsipnya model yang dapat dipilih sebagai model terbaik, adalah model yang cocok untuk permasalahan yang dihadapi dan tidak menunjukkan penyimpangan. Dengan kata lain, bahwa model yang diuji harus dapat menunjukkan bahwa model yang dirumuskan memang tepat.

**Tabel 9. Hasil Uji Korelasi dan Regresi Berganda Data Linier dengan Metode Full-Regression.**

Model	Model Hubungan	R	R <sup>2</sup>
1	QBR = 0,1674 LDP + 159,1141 (SEE = 119,934 m <sup>3</sup> /detik, 32,877%)*	0,9850	0,9753
2	QBR = 0,0686 LDP - 1,1662 HMS + 0,0729 HTR -0,4408 LHT + 0,5873 LSW + 95,2755 (SEE = 82,015 m <sup>3</sup> /detik, atau 22,48%)*	0,9889	0,9781
3	QBR = 0,2617 LDP - 0,5372 HMS + 0,0469 HTR -0,4196 LHT + 81,154 (SEE = 91,613 m <sup>3</sup> /det, atau 25,11%)*	0,9857	0,9710
4	QBR = 0,1694 LDP - 0,9548 HMS + 0,0765 HTR + 39,8938 (SEE = 121,995 m <sup>3</sup> /det atau 33,44%)*	0,9723	0,9455
5	QBR = 0,1624 LDP + 1,0122 HMS - 1,5811 KSU + 132,0653 (SEE = 109,448 m <sup>3</sup> /det atau 30,00%)*	0,9778	0,9561
6	QBR = 0,0264 LDP + 0,7213 HMS - 0,3629 LHT + 0,5349 LSW + 1,5851 PSU - 1,1494 KSU 115,5073 (SEE = 59,6148 m <sup>3</sup> /det atau 16,34%)*	0,9945	0,9892
7	QBR = 0,0548 LDP + 2,5343 HMS -0890 HTR -0,3633 LHT + 0,4115 LSW + 1,9089 PSU - 1,7614 KSU + 197,2073 (SEE = 55,2756 m <sup>3</sup> /detik atau 15,15%)*	0,9956	0,9913

Sumber :Perhitungan data Tabel 3.

\*) terhadap banjir rata-rata 364,7955 m<sup>3</sup>/detik, tabel 3.

Apabila diperhatikan model 4 pada Tabel 6 kelihatan bahwa variabel hujan tidak muncul dalam pembentukan model, yang justru variabel itu merupakan fenomena hidrologi yang menyebabkan banjir suatu DPS. Disamping itu luas DPS, sebagai wilayah yang menampung air hujan juga tidak terlibat dalam pembentukan model. Atas dasar pemikiran itu maka model 7 pada Tabel 9 yang dipilih untuk analisis lebih lanjut.

**Tabel 10. Analisis Ragam Model 7 Tabel 9.**

Sumber keraguan	Derajat bebas (DB)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F hitung	F tabel *)	
					0,05	0,01
Regresi	7	4871447,94	695925,42	227,77	2,76	4,28
Residu	4	42775,48	3055,39			
Jumlah	21	4914253,42				

Sumber :Perhitungan

\*) lihat lampiran VI, J. Suprpto, M, 1993

Tabel 10, menunjukkan perhitungan dari analisis ragam (variance) dari model 7 pada Tabel 9. Dari Tabel 10 terlihat bahwa nilai F hitung sebesar 227,77 lebih besar dari nilai F tabel (untuk derajat kepercayaan 5% nilai F tabel sebesar 2,76 dan untuk

derajat kepercayaan 1% nilai F tabel sebesar 4,28, pada derajat kebebasan 21) oleh karena hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak ada pengaruh dari variabel bebas yang digunakan dalam pembentukan model ditolak dan hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa antara VTB dan VB dari model regresi yang dipilih mempunyai hubungan sangat nyata diterima. Hal ini berarti paling sedikit terdapat sebuah variabel bebas yang mempengaruhi variabel debit banjir tahunan rata-rata.

Tabel 11, menunjukkan besar koefisien regresi dan koefisien determinasi parsial dari setiap variabel bebas. Dengan memperhatikan nilai koefisien regresi, maka variabel luas DPS (LDP), hujan maksimum satu hari (HMS), panjang sungai utama (PSU) dan luas sawah (LSW) mempunyai pengaruh positif terhadap debit banjir (QBR) artinya bahwa makin besar nilai variabel bebas tersebut akan semakin bertambah besar pula debit banjir tahunan rata-ratanya, variabel luas hutan (LHT), curah hujan tahunan (HTR) dan variabel kemiringan sungai utama (KSU), masing-masing mempunyai pengaruh negatif artinya makin besar nilai variabel bebas tersebut akan semakin kecil debit banjir tahunan rata-ratanya.

**Tabel 11. Koefisien Regresi dan Koefisien Determinasi Parsial Model 7 tabel 9.**

No	Variabel bebas	Koefisien Regresi	Koefisien determinasi parsial ( $r^2$ )
1	LDP	+ 0,0548	0,0327
2	HMS	+ 2,5343	0,2564
3	HTR	- 0,0894	0,1976
4	LHT	- 0,3633	0,5808
5	LSW	+ 0,4115	0,2489
6	PSU	+ 1,9089	0,3505
7	KSU	- 1,7614	0,4694
Koefisien determinasi $R^2 = 0,9913$			

Sumber : Perhitungan tabel 3.

Dengan memperhatikan nilai koefisien determinasi parsial pada Tabel 11, maka dapat dinyatakan bahwa semua variabel bebas yang digunakan mempunyai pengaruh terhadap pembentukan model, variabel bebas itu meliputi variabel hidrologi DPS (HMS dan HTR), variabel morfometri DPS (LDP, PSU, KSU) dan variabel luas bentuk penggunaan tanah DPS (LHT, LSW). Walaupun koefisien determinasi parsial ( $r^2$ ) dari setiap variabel bebas dapat dihitung akan tetapi apabila diperhatikan nilai korelasi matrik pada Tabel 5, terdapat korelasi yang kuat diantara beberapa variabel bebas, maka model regresi yang dipilih tidak mampu menjelaskan pengaruh yang sesungguhnya dari setiap variabel bebas Tabel 11 terhadap banjir dengan tegas. Bila dilihat dari Tabel 6 dan 7 hasil perhitungan metode step-wise, maka yang dominan menentukan debit banjir tahunan rata-rata adalah variabel panjang sungai (PSU), meskipun bila dilihat dari Tabel 11, nilai koefisien determinasi parsialnya sebesar  $r^2 = 0,3505$  relatif lebih kecil jika dibanding dengan koefisien determinasi luas hutan (LHT) dan kemiringan sungai utama (KSU)

Oleh karena itu selanjutnya hanya memperhatikan nilai koefisien determinasi  $R^2 = 0,9913$ , dan ini berarti bahwa variabel bebas yang digunakan dalam pembentukan model telah mampu menerangkan keragaman total dalam penentuan debit banjir tahunan rata-rata (QBR) sebesar 99,13% dan sisanya sebesar 0,87% disebabkan

oleh variabel bebas lainnya diluar variabel bebas yang digunakan dalam pembentukan model ini.

Selanjutnya untuk menguji keandalan dari pada model yang dipilih, maka model tersebut diterapkan kembali pada sampel yang diambil. Sebagai pembandingan dalam pengujian digunakan juga model yang ditunjukkan pada rumus 1 dan rumus 5. Tabel 12, menunjukan nilai akar rata-rata kesalahan kuadrat (RMS) yang dihitung berdasarkan rumus 11.

**Tabel 12. Nilai Akar Rata-rata Kesalahan Kuadrat.**

Jumlah Data	Model 7 Tabel 9 (%)	Rumus 5 (%)	Rumus 1 (%)
22	43,49	50,12	48,10
38	45,00	48,23	59,20

Sumber : perhitungan

Dengan memperhatikan nilai RMS, yang tercantum pada Tabel 12, kelihatan bahwa model 7 pada Tabel 9, apabila diterap pada 22 sampel data yang digunakan untuk pembentukan model mempunyai nilai RMS sebesar 43,49 %, dan ternyata masih lebih kecil dari pada nilai RMS model rumus 1 dan rumus 5 dan apabila diterapkan pada 38 jumlah data (22 sampel ditambah 16 buah sampel data sebagai penguji) nilainya adalah 45,00 % yang juga masih lebih kecil dari pada nilai RMS model rumus 1 dan rumus 5, yang masing-masing sebesar 48,23% dan 59,20%.

Sri Harto (1985) dalam penelitiannya terhadap 30 buah DPS di Pulau Jawa, menemukan adanya penyimpangan yang cukup besar dari penerapan model empiris dengan menggunakan metode der Weduwen, Haspers dan Melchior untuk menentukan debit banjir. Apabila penyimpangan itu disajikan sebagai nilai RMS, maka metode der Weduwen menyimpang sebesar 154,6 %, Haspers 176,4 % dan Melchior 146,5 % terhadap hasil analisis frekuensi dari data pengamatan. Selanjutnya disarankan untuk meninggalkan pemakaian model dari ketiga metode tersebut dalam analisis hidrologi (Sri Harto, 1993).

Berdasarkan nilai RMS pada Tabel 12 tersebut diatas, maka model 7 pada Tabel 9, dapat diusulkan untuk digunakan sebagai model pembandingan dari DPS di pulau Jawa yang belum dilakukan pengukuran debit. Model yang diusulkan sebagai pembandingan adalah:

$$\begin{aligned} \text{QBR} = & 0,0548 \text{ LDP} + 2,5343 \text{ HMS} - 0,0894 \text{ HTR} - 0,3633 \text{ LHT} \\ & + 0,4115 \text{ LSW} + 1,9089 \text{ PSU} - 1,7614 \text{ KSU} + 197,2073. \end{aligned}$$

Syarat berlakunya model tersebut diatas adalah :

- 1) luas DPS (LDP) antara 34,6 - 12492 km<sup>2</sup>
- 2) curah hujan maksimum DPS dalam satu hari (HMS) antara 73 - 162 mm/hari
- 3) total curah hujan DPS setahun (HTR) antara 1990 - 4086 mm/tahun
- 4) luas hutan DPS (HTR) antara 0,25 - 3023 km<sup>2</sup>
- 5) luas sawah DPS (LSW) antara 1,75 - 4094 km<sup>2</sup>
- 6) panjang sungai utama (PSU) antara 10,0 - 331,9 km
- 7) kemiringan sungai utama (KSU) antara 2,17 - 150 km

- 8) di dalam DPS lokasi penelitian tidak terdapat genangan air (waduk, danau, rawa) yang mempunyai luas DPS lebih dari 2% dari luas DPS dilokasi penelitian.
- 9) aliran tidak terkena arus balik/aliran lahar dan aliran itu tidak melimpas tanggul alam/buatan.

Selanjutnya disarankan apabila perlu memperkirakan debit banjir pada periode ulang tertentu maka dapat menggunakan nilai QBR tersebut dikalikan dengan nilai faktor tumbuh pada Tabel 1 sesuai dengan luas DPS nya. Dari model yang disarankan tersebut kelihatan bahwa variabel hidrologi dan morfometri bersama-sama dengan variabel luas penggunaan tanah terlibat dalam pembentukan model. Secara tidak langsung luas penggunaan tanah mencerminkan aktivitas manusia terhadap suatu DPS. Dari model yang dipilih ternyata nilai dari koefisien regresi variabel luas hutan (LHT) bertanda negatif, oleh karena itu usaha pemerintah dalam pelaksanaan reboisasi dan penghijauan pada kegiatan konservasi tanah dan air harus mendapat dukungan dari semua pihak, karena berdasarkan model yang dipilih luas hutan (LHT) dapat memperkecil nilai QBR

#### KESIMPULAN DAN SARAN

1. Model hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pembandingan dari model yang telah dikembangkan untuk memperkirakan debit banjir tahunan rata-rata dan debit banjir pada periode ulang tertentu pada sungai di Jawa dari suatu DPS yang belum memiliki data pengukuran debit atau tinggi muka air akan tetapi telah tersedia data curah hujan, morfometri DPS, luas hutan dan luas sawah.
2. Dalam penentuan sebuah model banjir tahunan rata-rata (QBR), sebaiknya harus dilibatkan faktor-faktor yang mempengaruhi debit banjir tersebut secara terpadu. Panjang sungai utama (PSU) ternyata merupakan faktor yang dominan dalam memperkirakan debit banjir tahunan rata-rata untuk sungai di Jawa.
3. Hasil perhitungan debit banjir tahunan rata-rata (QBR) dengan menggunakan sebuah model harus dilakukan pengecekan dengan cara :
  - (1) membandingkan hasil perhitungan model tersebut dengan beberapa model dan kemudian hasilnya dibandingkan lagi dengan data debit banjir yang tercatat didekat lokasi penelitian dalam satu alur sungai yang sama atau dari DPS yang berdekatan, dengan cara melaksanakan analisis hidrologi, atau dengan,
  - (2) melaksanakan pengukuran debit di lokasi penelitian minimal selama dua musim penghujan untuk membuat lengkung debit yang dapat menggambarkan hubungan antara tinggi muka air dengan debit pada kondisi muka air rendah sampai tinggi dan apabila pengukuran debit dengan alat ukur arus (current meter) pada saat banjir mengalami kesulitan, maka debitnya dapat dihitung dengan melaksanakan pengukuran debit dengan metode apung atau menghitung debit banjir berdasarkan rumus Manning (metode Slope-Area), rumus Chezy (metode Steven), rumus Darcy Weisbach untuk sungai berbatu-batu dan metode yang lainnya.
  - (3) melaksanakan butir (1) dan (2) bersama-sama



4. Keputusan terakhir dalam penentuan debit banjir yang tepat dari hasil perhitungan model akhirnya tergantung sepenuhnya dari pada pengalaman hidrologi yang melaksanakan analisis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- IOH - DPMA, 1983, *Flood Design Manual For Java and Sumatera*, Institute of Hydrology, Wallingford, OXON, UK.
- International Engineering Company et al, 1977, *Sederhana Reclamation and Land Development Project - Preliminary Hydrological Study Report on Estimating low and Flood flow from Small Watershed*, for DGWRD, Republik Indonesia.
- Murray. R. Spiegel, 1972, *Statistics*, McGraw - Hill, New York.
- Seyhan. Ersin, 1977, *Fundamentals of Hydrology*, Geografich Institut, Rijkuniversiteit te Utrecht.
- Shaw. Elizabet, 1990, *Hydrology in Practice*, Chapman and Hall, London.
- Sunyoto, Banjir Salah Satu Indikator Defisit Air, *Harian Kompas* 16 Maret 1994.
- Soewarno, 1991, *Hidrologi - Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai - Hidrometri*, Penerbit Nova, Bandung.
- Sri Harto. Br, 1993, *Analisis Hidrologi*, Penerbit Gramedia Pustaka utama, Jakarta.
- Supranto, 1983 *Statistik Teori dan Aplikasi*, Jilid 2 Penerbit Erlangga Jakarta.
- Suyono Sosrodarsono, 1976, *Hidrologi Untuk Pengairan*, Penerbit Pradyna Paramita, Jakarta.
- WMO - No. 356, *Applications of Hydrology to Water Resources Management*, Geneva, Switzerland.